

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
27 mars 2003 (27.03.2003)

(10) Numéro de publication internationale  
PCT  
WO 03/024919 A1

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :

C07C 253/10

Villeurbanne (FR). VALLEE, Christophe [FR/FR]; 11,  
avenue Roberto Rossellini, F-69100 Villeurbanne (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR02/03166

(74) Mandataire : ESSON, Jean-Pierre; Rhodia Services, Di-  
rection de la Propriété Industrielle, Centre de Recherches  
de Lyon BP62, F-69192 Saint Fons Cedex (FR).

(22) Date de dépôt international :

17 septembre 2002 (17.09.2002)

(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,  
BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,  
DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,  
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK,  
LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,  
MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI,  
SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,  
VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

01/12040 18 septembre 2001 (18.09.2001) FR

(84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (GH, GM, KE,  
LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet  
eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet  
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,  
FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), brevet  
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,  
MR, NE, SN, TD, TG).

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :  
RHODIA POLYAMIDE INTERMEDIATES [FR/FR];  
Avenue Ramboz, B.P. 33, F-69190 Saint-Fons (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : BASSET,  
Jean-Marie [FR/FR]; 18, chemin J.G. Gillard, F-69300  
Caluire et Cuire (FR). CHAUVIN, Yves [FR/FR]; 10,  
place François Sicard, F-37000 Tours (FR). GALLAND,  
Jean-Christophe [FR/FR]; 145, rue du Dr. Long, F-69003  
Lyon (FR). NICCOLAI, Gerry [FR/FR]; 1, rue Pro-  
fesseur Calmette, F-69100 Villeurbanne (FR). VALERIO,  
Christine [FR/FR]; 148, rue Anatole France, F-69100

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abrégia-  
tions, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et  
abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de  
la Gazette du PCT.

(54) Title: METHOD OF PRODUCING NITRILE COMPOUNDS

(54) Titre : PROCEDE DE FABRICATION DE COMPOSES NITRILES

(57) Abstract: The invention relates to a method of producing nitrile compounds from unsaturated organic compounds by reaction with hydrogen cyanide. More specifically, the invention relates to the production of nitrile compounds that are used to synthesise adiponitrile which is an important chemical intermediate for the production of large chemical compounds, such as hexamethylene diamine and  $\epsilon$ -caprolactam. Moreover, the invention relates to a method of producing organic compounds comprising at least one nitrile function by means of a hydrocyanation reaction between the hydrogen cyanide and an organic compound having at least one ethylenic unsaturation. Said reaction is carried out in the presence of a catalytic system comprising a metallic element which is selected from the group containing nickel, platinum, palladium and an organophosphorous ligand. In addition, the reaction medium contains an ionic liquid which is in liquid state at least at the temperature at which the hydrocyanation reaction is carried out.

(57) Abrégé : La présente invention concerne la fabrication de composés nitriles à partir de composés organiques insaturés par réaction avec le cyanure d'hydrogène. Elle se rapporte plus particulièrement à la fabrication de composés nitriles utiles pour la synthèse de l'adiponitrile, intermédiaire chimique important pour la fabrication de grands composés chimiques tels que l'hexaméthylène diamine et l' $\epsilon$ -caprolactame. L'invention propose un procédé de fabrication de composés organiques comprenant au moins une fonction nitrile par mise en œuvre d'une réaction d'hydrocyanation entre le cyanure d'hydrogène et un composé organique comprenant au moins une insaturation éthylénique. Cette réaction est mise en œuvre en présence d'un système catalytique comprenant un élément métallique choisi dans le groupe comprenant le nickel, le platine, le palladium et un ligand organophosphoré, le milieu réactionnel comprenant, en outre un liquide ionique au moins à l'état liquide à la température de mise en œuvre de la réaction d'hydrocyanation.

WO 03/024919 A1

PROCEDE DE FABRICATION DE COMPOSES NITRILES

La présente invention concerne la fabrication de composés nitriles à partir de composés organiques insaturés par réaction avec le cyanure d'hydrogène.

5 Elle se rapporte plus particulièrement à la fabrication de composés nitriles utiles pour la synthèse de l'adiponitrile, intermédiaire chimique important pour la fabrication de grands composés chimiques tels que l'hexaméthylène diamine et l' $\epsilon$ -caprolactame. Ces deux derniers composés sont utilisés, notamment, dans la fabrication de polymères tels que les polyamides et plus particulièrement les polyamides 6 et 6-6, ou d'autres  
10 polymères tels que les polyuréthanes.

Plusieurs procédés de fabrication de composés nitriles ont été proposés. Parmi ceux-ci, l'hydrocyanation directe d'une oléfine ou polyoléfine telle que, par exemple, le 1,3-butadiène par réaction avec le cyanure d'hydrogène est un procédé développé industriellement et qui fait l'objet de nombreux brevets ou publications.

15 Ce procédé consiste, sommairement, dans une première étape à réaliser l'addition d'une molécule de HCN sur une insaturation éthylénique pour obtenir un composé nitrile insaturé. En fait, cette étape conduit à la production de nombreux isomères de nitriles insaturés. L'addition d'une nouvelle molécule de HCN conduit, dans une étape suivante à un polynitrile, par exemple, à un dinitrile tel que l'adiponitrile quand l'oléfine de départ est  
20 le 1,3-butadiène.

Pour éviter et limiter la production de sous-produits ne présentant pas de propriétés d'usage importantes, le procédé comprend après la première étape d'hydrocyanation, une étape appelée « étape d'isomérisation » consistant à transformer la majeure partie des isomères nitriles ramifiés en isomères nitriles linéaires tels que, dans le cas de  
25 l'hydrocyanation du butadiène, en 3- et 4-pentènenitriles.

Ces réactions sont généralement réalisées en phase liquide en présence d'un catalyseur à base d'un métal, le plus souvent, le nickel présent sous forme d'un complexe avec un ligand organique. Cette réaction peut être réalisée dans un milieu homogène, le catalyseur étant soluble dans le milieu d'hydrocyanation, notamment dans  
30 l'oléfine ou les nitriles ou dans un tiers solvant. Elle peut être également réalisée avec un milieu présentant plusieurs phases liquides, le catalyseur étant soluble dans une des phases, plus précisément dans la phase formée par un tiers solvant polaire généralement l'eau, phase distincte de celle formée par l'oléfine et les nitriles, au moins à température ambiante. Ce dernier mode de réalisation permet d'extraire et récupérer le catalyseur  
35 plus aisément et donc d'obtenir des composés nitriles contenant moins d'impuretés apportées par le catalyseur.

Ces systèmes catalytiques ont été décrits dans de nombreux brevets et plusieurs classes de ligands ont été étudiées. Généralement, les ligands sont des composés organophosphorés comme les phosphites, phosphinites, phosphonites ou phosphines. Ils peuvent être monodentates ou polydentates. Dans le cas des procédés en milieu  
5 biphasique, ces ligands organophosphorés comprennent avantageusement un ou plusieurs groupements ionisables tels que les groupements sulfonates, phosphates, carboxylates, ammonium, par exemple pour les rendre solubles dans la phase polaire.

Comme exemple de description de ces procédés, on peut citer le brevet US 3 496 217 qui décrit la synthèse de l'adiponitrile par réaction du cyanure d'hydrogène  
10 sur du butadiène en présence d'un catalyseur à base de nickel complexé avec un ligand tel que le phosphite de triaryle. Cette réaction est réalisée avec une catalyse en milieu monophasique.

Quant au brevet français n°2 338 253, il décrit également un procédé de synthèse de l'adiponitrile par hydrocyanation du butadiène. La réaction est réalisée en milieu  
15 liquide biphasique, le catalyseur étant contenu dans une phase aqueuse. Ce procédé permet de récupérer l'adiponitrile dans la phase organique exempt de catalyseur et donc de métal. Le catalyseur décrit est également un catalyseur à base d'un métal tel que le nickel associé à un ligand du type phosphine. Toutefois, ce ligand comprend des radicaux sulfonates permettant de rendre soluble ou dispersable le catalyseur dans l'eau.

20 Par ailleurs, il est également connu d'associer le catalyseur à base de nickel avec des promoteurs comme les acides de Lewis, comme par exemple, le chlorure de zinc, le triphénylborane pour l'hydrocyanation d'un composé nitrile insaturé.

Des recherches constantes sont entreprises pour améliorer les performances de la synthèse des nitriles par hydrocyanation, soit par mise au point de nouveaux systèmes  
25 catalytiques, soit par modification des conditions de réaction et compositions du milieu d'hydrocyanation.

Parmi les derniers brevets publiés, le brevet US 6 169 198 décrit l'utilisation de nouveaux ligands de type métallocène-phosphore. De même, le brevet US 5 773 637 décrit l'utilisation, comme acide de Lewis, des composés perfluoroalkylsulfonates.

30 Un des buts de la présente invention est de proposer un nouveau procédé de fabrication de nitriles par hydrocyanation d'une oléfine par réaction avec le cyanure d'hydrogène permettant d'obtenir des rendements et sélectivités en nitriles linéaires élevés ainsi qu'une stabilité du système catalytique améliorée.

A cet effet, l'invention propose un procédé de fabrication de composés organiques  
35 comprenant au moins une fonction nitrile par mise en œuvre d'une réaction d'hydrocyanation entre le cyanure d'hydrogène et un composé organique comprenant au moins une insaturation éthylénique. Ce dernier composé sera appelé pour plus de

simplicité dans la présente invention, une oléfine ou polyoléfine quand il comprend plusieurs insaturations éthyléniques. Toutefois, cette appellation "oléfine" ne doit pas être interprétée comme une limitation des composés organiques convenables pour l'invention aux hydrocarbures, mais elle concerne également des composés organiques comprenant  
5 au moins une insaturation éthylénique, et pouvant comprendre d'autres atomes que le carbone et l'hydrogène ou des mélanges d'hydrocarbures comme le mélange obtenu par distillation du pétrole appelé dans le domaine des hydrocarbures la coupe C4. Cette coupe est avantageusement traitée pour éliminer ou transformer les impuretés telles que les composés comprenant une insaturation acétylénique, par exemple par hydrogénation  
10 comme décrit dans le brevet US n°6 197 992. On considérera comme une "oléfine" au sens de la présente invention, un composé comprenant une insaturation et une fonction nitrile comme par exemple les composés nitriles insaturés obtenus par la réaction de HCN sur une polyoléfine.

Selon une caractéristique de l'invention, la réaction est mise en œuvre en présence  
15 d'un système catalytique comprenant un élément métallique choisi dans le groupe comprenant le nickel, le platine, le palladium et un ligand organophosphoré, le milieu réactionnel comprenant, en outre un liquide ionique au moins à l'état liquide à la température de mise en œuvre de la réaction d'hydrocyanation.

Dans un premier mode de réalisation, le liquide ionique et le composé à  
20 hydrocyaner sont totalement miscibles, au moins à la température de la réaction. La réaction d'hydrocyanation est réalisée en milieu homogène ou monophasique.

Dans un second mode de réalisation, le liquide ionique et le composé à hydrocyaner ne sont pas ou seulement partiellement miscibles à la température de la réaction. La réaction est réalisée en milieu non homogène ou biphasique. Dans ce mode  
25 de réalisation, le système catalytique est avantageusement soluble dans le liquide ionique.

Dans ces deux modes de réalisation, il est possible d'ajouter un solvant peu polaire. Ce solvant peu polaire pourra être ajouté dès le début de la réaction, mais également pourra être utilisé qu'après la fin de la réaction pour ainsi favoriser la séparation des  
30 produits hydrocyanés et du liquide ionique notamment pour permettre l'extraction du système catalytique. En effet, le solvant peu polaire a pour fonction de rendre insoluble le liquide ionique dans la phase constituée par ledit solvant, l'oléfine non transformée et les composés nitriles formés.

Quelque soit le mode de réalisation, il est préférable que le système catalytique soit  
35 au moins partiellement miscible dans le liquide ionique. Avantageusement, cette miscibilité peut être obtenue par la présence d'au moins un groupement ionisable dans la molécule du ligand organophosphoré. Comme groupements ionisables, on peut citer les

groupements de type anionique tels que sulfonate, sulfinate, phosphonate, phosphinate, carboxylate, sulfinate, ou de type cationique tels que guanidinium, ammonium, pyridinium, imidazolium, phosphonium, sulfonium, par exemple. Le nombre et la nature de ces groupements ioniques sont choisis de préférence pour obtenir une solubilité du  
5 ligand dans le liquide ionique. Il peut être avantageux que la nature du groupement ionisable soit identique à celle de l'anion ou du cation associé au liquide ionique.

Les systèmes catalytiques convenables pour l'invention sont ceux qui comprennent de préférence l'élément nickel à l'état d'oxydation zéro ou un complexe avec des ligands organophosphorés pouvant comprendre plusieurs groupements ionisables décrits ci-  
10 dessus ou plus généralement les composés contenant du phosphore capable de donner un composé de coordination avec les métaux de transition et plus particulièrement les métaux catalytiques cités précédemment, notamment avec le nickel. Ces composés peuvent être mono, bi ou polydentate et présenter un caractère hydrophobe ou hydrophile. Ces composés ont été décrits dans de nombreux brevets relatifs à  
15 l'hydrocyanation du butadiène et appartiennent à plusieurs classes dont notamment les organophosphites, organophosphonites, organophosphinites, organophosphines.

De tels systèmes catalytiques et leurs procédés de préparation sont décrits, par exemple, dans les brevets français 2 338 253, 2 710 909, 2 711 987, 2 739 378, 2 778 915.

20 A titre d'exemple de composés organiques phosphorés convenables pour l'invention, on peut citer les alkylphosphines, arylphosphines, alkylarylphosphines, alkylphosphites, arylphosphites, alkylarylphosphites, alkylphosphinites, arylphosphinites, alkylarylphosphinites, alkylphosphonites, arylphosphonites, alkylarylphosphonites dont la moitié organique comprend jusqu'à 36 atomes de carbone et qui, de préférence, sont  
25 substitués par un ou plusieurs groupements ioniques décrits précédemment.

Comme exemple de composés, on peut citer la tributylphosphine, la diméthyl-n-octylphosphine, la tricyclohexylphosphine, la triphénylphosphine, la tolylphosphine, la tris(p-méthoxyphényl) phosphine, la diphényléthylphosphine, la diméthylphénylphosphine, le 1,4-bis-diphénylphosphinobutane, le triéthylphosphite, le  
30 diphénylphosphite lesdits composés comprenant, de préférence, au moins un groupement ionique décrit précédemment.

A titre d'exemples de tels composés, on peut citer, le triphénylphosphinomonométasulfonate de sodium (TPPMS,Na), le 2-(5-sodiocarboxyfuryl)diphénylphosphine, le (3-sodiosulfinatophényl)diphénylphosphine.

35 Comme cela est décrit dans les brevets cités ci-dessus, le catalyseur peut être préparé avant son introduction dans le milieu, soit in-situ.

Pour cela, on utilise de préférence des composés des métaux formant l'élément catalytique, comme le nickel qui sont ajoutés dans un milieu dans lequel le ligand organophosphoré est également soluble. Un tel milieu peut-être le liquide ionique. Le système catalytique ainsi formé est ajouté dans le milieu d'hydrocyanation.

5 Parmi les composés précités, les composés préférés sont ceux du nickel, on peut citer à titre d'exemples non limitatifs :

- les composés dans lesquels le nickel est au degré d'oxydation zéro comme le tétracyanonickelate de potassium  $K_4 [Ni(CN)_4]$ , le bis (acrylonitrile) nickel zéro, le bis (cyclooctadiène-1,5) $_2$  nickel et les dérivés contenant des ligands du groupe Va comme le tétrakis (triphenyl-phosphine) nickel zéro;

10 - les composés du nickel au degré d'oxydation supérieur à zéro comme les carboxylates (notamment l'acétate), carbonate, bicarbonate, borate, bromure, chlorure, citrate, thiocyanate, cyanure, formiate, hydroxyde, hydrophosphite, phosphite, phosphate et dérivés, iodure, nitrate, sulfate, sulfite, aryl- et alkyl-sulfonates, allyle, acétylacetonate.

15 Il n'est pas nécessaire que le composé du nickel soit lui même soluble dans le milieu de préparation tel que le liquide ionique. En effet, il suffit que le complexe soit soluble, c'est à dire que la solubilisation du nickel intervienne pendant l'addition du ligand dans le liquide ionique.

Quand le composé du nickel utilisé correspond à un état d'oxydation du nickel supérieur à 0, on ajoute au milieu réactionnel un réducteur du nickel réagissant préférentiellement avec celui-ci dans les conditions de la réaction. Ce réducteur peut être organique ou minéral ou l'hydrogène. On peut citer comme exemples non limitatifs la poudre de Zn, le magnésium, le  $BH_4K$ , le  $BH_4Na$  et les borohydrures de préférence solubles dans l'eau.

25 Ce réducteur est ajouté en quantité telle que le nombre d'équivalents d'oxydo-réduction est compris entre 1 et 10. Des valeurs inférieures à 1 et supérieures à 10 ne sont toutefois pas exclues.

Lorsque le composé du nickel utilisé correspond à l'état d'oxydation 0 du nickel, on peut également ajouter un réducteur du type de ceux précités, mais cet ajout n'est pas impératif.

30 Lorsqu'on utilise un composé du fer, les mêmes réducteurs conviennent.

Dans le cas du palladium, les réducteurs peuvent être, en outre, des éléments du milieu réactionnel (phosphine, solvant, oléfine).

Selon l'invention, le milieu réactionnel comprend un liquide ionique. Ce liquide ionique est un composé ionique dont le cation est de type onium possédant au moins un hétéroatome tel que N, P, S portant la charge positive en conjugaison avec un cycle aromatique à 5 ou 6 éléments et un anion.

De tels composés sont par exemple décrits dans l'article de Yves Chauvin et Hélène Olivier – Bourbigou intitulé "Non aqueous ionic liquids as reaction solvents" publiés dans Chemtech 12, 1995, p 66, l'article de T. Welton publié dans Chem. Rev. 1999, p 2071 ou des brevets comme le brevet Ep 971 854.

5 Selon une caractéristique préférée de l'invention, le liquide ionique comprend au moins un cation choisi dans le groupe comprenant les structures tétraalkylammonium, N-alkylimidazolium, N-alkylpyridinium, N-alkylpicolinium, N-alkyltriazolium, N-alkylfluoropyrazolium, N-pyrrolidinium, alkylsulfonium, tétraalkylphosphonium, alkyloxonium.

10 Comme exemples de cations préférés de l'invention, on peut citer les alkylimidazoliums tels que le 1,3-diméthylimidazolium, le 1-butyl-2,3-diméthylimidazolium, le 1-butyl-3-méthylimidazolium ou le 1,2,3-triméthylimidazolium.

Comme anions préférés de l'invention on peut citer un anion choisi parmi les halogénures, le nitrate, le phosphate, l'hydrosulfate, les perfluoroalkylsulfonates, les bis (perfluoroalkylsulfonyl)amidures, le bis (fluorosulfonyl)amidure, le 15 bis(fluorophosphoryl)amidure, les tris (perfluoroalkylsulfonyl) méthylures, les tétrahalogénures de bore, d'aluminium, de gallium, de fer, les hexahalogénures de phosphore, d'arsenic et d'antimoine, les trihalogénures de zinc et d'étain, les dihalogénures de cuivre.

20 Les anions préférés de l'invention sont  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{BF}_4^-$ ,  $\text{PF}_6^-$ ,  $\text{SbF}_6^-$ ,  $\text{AlCl}_4^-$ ,  $\text{ZnCl}_3^-$ ,  $\text{SnCl}_3^-$ ,  $(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}^-$ .

Le liquide ionique pour être convenable avec le procédé de l'invention doit être au moins à l'état liquide à la température de mise en œuvre de la réaction d'hydrocyanation. Toutefois, les liquides ioniques se trouvant à l'état liquide à une température inférieure à 25 100°C sont préférés car ils permettent une meilleure séparation et extraction du catalyseur du milieu réactionnel dans le cas d'un système biphasique.

En outre, selon le mode de réalisation de l'invention (système mono ou biphasique), le liquide ionique qui devient miscible ou au moins partiellement miscible dans le milieu réactionnel uniquement à la température de la mise en œuvre de la réaction 30 d'hydrocyanation, ou au voisinage de celle-ci, est tout à fait compatible pour la réalisation de l'invention.

Dans le mode de réalisation en milieu biphasique, l'immiscibilité du liquide ionique, au moins à basse température est obtenue de préférence, par addition d'un solvant peu polaire dans le milieu réactionnel. Ce solvant dissout les oléfines à hydrocyner ainsi que 35 les nitriles produits et rend insoluble le liquide ionique dans les oléfines et nitriles produits. Comme solvant peu polaire, on peut citer les hydrocarbures saturés tels que

l'hexane, l'heptane, l'octane, le toluène, les éthers comme le diéthyléther, la diisopropyléther, le méthylisobutyléther.

Les conditions de réalisation de la réaction de l'hydrocyanation sont décrites ci-dessous, à titre d'exemple.

5        Ainsi, la quantité utilisée de composé du nickel ou d'un autre métal de transition est choisie pour obtenir une concentration en mole de métal de transition par mole de composés organiques à hydrocyanner ou isomériser comprise entre  $10^{-4}$  et 1, et de préférence entre 0,005 et 0,5 mole de nickel ou de l'autre métal de transition mis en œuvre.

10        La quantité de ligand utilisée pour former le catalyseur est choisie de telle sorte que le nombre de moles de ce composé rapporté à 1 mole de métal de transition soit compris entre 0,5 et 50 et de préférence entre 2 et 10.

La réaction d'hydrocyanation est généralement réalisée à une température comprise entre 10°C et 200°C et de préférence entre 30°C et 120°C.

15        Le procédé de l'invention peut être mis en œuvre de manière continue ou discontinue.

Le cyanure d'hydrogène mis en œuvre peut être préparé à partir des cyanures métalliques, notamment le cyanure de sodium, ou des cyanhydrines, comme la cyanhydrine de l'acétone ou par tout autre procédé de synthèse connu.

20        Le cyanure d'hydrogène est introduit dans le réacteur sous forme gazeuse ou sous forme liquide. Il peut également être préalablement dissous dans un solvant organique.

Dans le cadre d'une mise en œuvre discontinue, on peut en pratique charger dans un réacteur, préalablement purgé à l'aide d'un gaz inerte (tel qu'azote, argon), soit une solution contenant la totalité ou une partie des divers constituants, le composé de métal  
25        de transition, les éventuels réducteurs et solvants, soit séparément lesdits constituants. Généralement le réacteur est alors porté à la température choisie, puis le composé à hydrocyanner est introduit. Le cyanure d'hydrogène est alors lui-même introduit, de préférence de manière continue et régulière.

Quand la réaction est terminée, le mélange réactionnel est soutiré après  
30        refroidissement et les produits de la réaction sont isolés, par exemple, par séparation de la phase contenant le système catalytique et de la phase formée par le solvant peu ou apolaire, les produits hydrocyanés et ceux n'ayant pas été transformés dans le cas d'un système biphasique. Les produits de cette dernière phase peuvent être séparés par distillation, par exemple. Dans le cas d'un système monophasique d'autres moyens de  
35        séparation peuvent être mis en œuvre comme, par exemple, la distillation, l'extraction liquide/liquide.



Dans le cas où le produit à hydrocyanner est un composé insaturé comprenant une fonction nitrile, il est avantageux d'utiliser avec le système catalytique un cocatalyseur consistant en au moins un acide de Lewis.

Cette réaction consiste notamment à transformer les nitriles aliphatiques à  
5 insaturation éthylénique, notamment les pentènenitriles linéaires comme le pentène-3-nitrile, le pentène-4-nitrile et leurs mélanges obtenus par hydrocyonation du butadiène en dinitriles plus précisément en adiponitrile.

Ces pentènenitriles peuvent contenir des quantités, généralement minoritaires, d'autres composés, comme le méthyl-2-butène-3-nitrile, le méthyl-2-butène-2-nitrile, le  
10 pentène-2-nitrile, le valéronitrile, l'adiponitrile, le méthyl-2-glutaronitrile, l'éthyl-2-succinonitrile ou le butadiène, provenant de la réaction antérieure d'hydrocyonation du butadiène et/ou de l'isomérisation du méthyl-2-butène-3-nitrile en pentènenitriles.

L'acide de Lewis utilisé comme cocatalyseur permet notamment, dans le cas de l'hydrocyonation des nitriles aliphatiques à insaturation éthylénique, d'améliorer la  
15 linéarité des dinitriles obtenus, c'est-à-dire le pourcentage de dinitriles linéaires par rapport à la totalité des dinitriles formés, et/ou d'augmenter l'activité et la durée de vie du catalyseur.

Par acide de Lewis, on entend dans le présent texte, selon la définition usuelle, des composés accepteurs de doublets électroniques.

20 On peut mettre en œuvre notamment les acides de Lewis cités dans l'ouvrage édité par G.A. OLAH "Friedel-Crafts and related Reactions", tome I, pages 191 à 197 (1963).

Les acides de Lewis qui peuvent être mis en œuvre comme cocatalyseurs dans le présent procédé sont choisis parmi les composés des éléments des groupes Ib, IIb, IIIa, IIIb, IVa, IVb, Va, Vb, VIb, VIIb et VIII de la classification périodique des éléments. Ces  
25 composés sont le plus souvent des sels, notamment des halogénures, comme chlorures ou bromures, sulfates, sulfonates, halogenosulfonates, perhalogénoalkylsulfonates, notamment fluoroalkylsulfonates ou perfluoroalkylsulfonates, carboxylates et phosphates, les bis(perfluoroalkylsulfonyl)amidures, les tris(perfluoroalkylsulfonyl)méthylures.

A titre d'exemples non limitatifs de tels acides de Lewis, on peut citer le chlorure de  
30 zinc, le bromure de zinc, l'iodure de zinc, le chlorure de manganèse, le bromure de manganèse, le chlorure de cadmium, le bromure de cadmium, le chlorure stanneux, le bromure stanneux, le sulfate stanneux, le tartrate stanneux, le trifluorométhylsulfonate d'indium, les chlorures ou bromures des éléments des terres rares comme le lanthane, le cérium, le praséodyme, le néodyme, le samarium, l'eupratrium, le gadolinium, le terbium,  
35 le dysprosium, l'hafnium, l'erbium, le thallium, l'ytterbium et le lutétium, le chlorure de cobalt, le chlorure ferreux, le chlorure d'yttrium.

On peut également utiliser comme acide de Lewis des composés organométalliques comme le triphénylborane, le diisopropylate de titane.

On peut bien entendu mettre en œuvre des mélanges de plusieurs acides de Lewis.

Parmi les acides de Lewis, on préfère tout particulièrement le chlorure de zinc, le  
5 bromure de zinc, le chlorure stanneux, le bromure stanneux, le triphénylborane et les mélanges chlorure de zinc/chlorure stanneux.

On choisira de préférence un acide de Lewis possédant un anion identique ou de même nature que l'anion du liquide ionique comme par exemple le chlorure de zinc, quand le liquide ionique comprend comme anion  $\text{ZnCl}_3^-$ , le chlorure d'aluminium quand  
10 l'anion du liquide ionique est l'anion  $\text{AlCl}_4^-$ , le tris(bistrifluorométhylsulfonylamidure) de lanthane quand le milieu ionique est constitué de l'anion bistrifluorométhylsulfonylamidure, le tri(trifluorométhylsulfonate) de néodyme quand l'anion du milieu ionique est l'anion trifluorométhylsulfonate. On peut aussi mettre en œuvre un liquide ionique constitué d'un mélange d'anions polynucléaires tels l'anion  
15  $\text{Zn}_2\text{Cl}_5^-$  et de  $\text{ZnCl}_3^-$ , ou  $\text{Al}_2\text{Cl}_7^-$  et de  $\text{AlCl}_4^-$ .

Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, l'acide de Lewis sera apporté par l'anion du liquide ionique. Ce liquide ionique apporte lui-même l'effet de cocatalyse dans le milieu.

Le cocatalyseur acide de Lewis mis en œuvre représente généralement de 0,01 à  
20 50 mole par mole de composé de métal de transition, plus particulièrement de composé du nickel, et de préférence de 1 à 10 mole par mole.

Il est également possible dans les conditions du procédé d'hydrocyanation de la présente invention, et plus particulièrement en présence d'un liquide ionique, de réaliser, en absence de cyanure d'hydrogène, l'isomérisation du méthyl-2-butène-3-nitrile en  
25 pentènenitriles, et plus généralement des nitriles insaturés ramifiés en nitriles insaturés linéaires.

Le méthyl-2-butène-3-nitrile soumis à l'isomérisation selon l'invention peut être mis en œuvre seul ou en mélange avec d'autres composés.

Ainsi on peut engager du méthyl-2-butène-3-nitrile en mélange avec du méthyl-2-  
30 butène-2-nitrile, du pentène-4-nitrile, du pentène-3-nitrile, du pentène-2-nitrile, du butadiène, de l'adiponitrile, du méthyl-2-glutaronitrile, de l'éthyl-2-succinonitrile ou du valéronitrile.

Il est particulièrement intéressant de traiter le mélange réactionnel provenant de l'hydrocyanation du butadiène par HCN selon les conditions de l'invention, c'est à dire en  
35 présence d'un liquide ionique.

Dans le cadre de cette variante préférée, le système catalytique étant déjà présent pour la réaction d'hydrocyanation du butadiène, il suffit d'arrêter toute introduction de cyanure d'hydrogène, pour laisser se produire la réaction d'isomérisation.

On peut, le cas échéant, dans cette variante faire un léger balayage du réacteur à l'aide d'un gaz inerte comme l'azote ou l'argon par exemple, afin de chasser l'acide cyanhydrique qui pourrait être encore présent.

La réaction d'isomérisation est généralement réalisée à une température de 10°C à 200°C et de préférence de 60°C à 120°C.

Dans le cas préféré d'une isomérisation suivant immédiatement la réaction d'hydrocyanation du butadiène, il sera avantageux d'opérer à la température à laquelle l'hydrocyanation a été conduite.

Comme pour le procédé d'hydrocyanation de composés à insaturation éthylénique, le système catalytique utilisé pour l'isomérisation peut être préparé avant son introduction dans la zone de réaction. Il est également possible de préparer le système catalytique "in situ" par simple mélange de ces divers constituants. La quantité de composé du métal de transition et plus particulièrement du nickel utilisée, ainsi que la quantité de ligand sont les mêmes que pour la réaction d'hydrocyanation.

Toutefois, la préparation de composés dinitriles par hydrocyanation d'une oléfine comme le butadiène peut être réalisée en utilisant un système réactionnel conforme à l'invention pour les étapes de formation des nitriles insaturés et l'étape d'isomérisation ci-dessus, la réaction d'hydrocyanation des nitriles insaturés en dinitriles pouvant être mis en œuvre avec un système réactionnel conforme à l'invention ou tout autre système catalytique déjà connu pour cette réaction.

De même, la réaction d'hydrocyanation de l'oléfine en nitriles insaturés et l'isomérisation de ceux-ci peuvent être réalisées avec un système réactionnel différent de celui de l'invention, l'étape d'hydrocyanation des nitriles insaturés en dinitriles étant mis en œuvre avec un système réactionnel conforme à l'invention.

Les exemples donnés ci-dessous uniquement à titre indicatif, illustreront l'invention et ses avantages.

#### PREPARATION DE LIQUIDES IONIQUES

##### Synthèse du bis-trifluorométhylsulfonylamidure de 1-butyl-2,3-diméthylimidazolium (BMMI<sup>+</sup>TF<sub>2</sub>N<sup>-</sup>)

40,50 g (0,215 mol) de chlorure de 1-butyl-2,3-diméthylimidazolium sont dissous dans 300 ml d'eau distillée. 61,62 g (0,215 mol) de bis-trifluorométhylsulfonylamidure de lithium sont ajoutés et le mélange est agité sous argon pendant 72 heures à température

ambiante. Un système biphasique se forme. Après extraction avec 250 ml de dichlorométhane, la phase organique est lavée avec 800 ml d'eau puis concentrée. Le composé se présente sous la forme d'un liquide légèrement rosé qui est purifié par chromatographie sur une colonne d'alumine neutre (éluant : dichlorométhane). Il est alors concentré, repris dans l'acétonitrile en présence de charbon actif et filtré. Après séchage plusieurs heures à 60°C, le composé est obtenu sous la forme d'un liquide incolore (83,78 g, 90%). La structure de ce produit :  $C_{11}H_{17}N_3S_2O_4F_6$  est confirmée par analyse spectrale RMN.

10      Synthèse du bis-trifluorométhylsulfonylamidure de 1-butyl-3-méthylimidazolium  
          (BMI<sup>+</sup>TF<sub>2</sub>N<sup>-</sup>)

41,92 g (0,240 mol) de chlorure de 1-butyl-3-méthylimidazolium sont dissous dans 300 ml d'eau distillée. 69,46 g (0,242 mol) de bis-trifluorométhylsulfonylamidure de lithium sont ajoutés et le mélange est agité sous argon pendant 90 heures à température ambiante. Un système biphasique se forme. Après extraction avec 250 ml de dichlorométhane, la phase organique est lavée avec 800 ml d'eau puis concentrée. Le composé se présente sous la forme d'un liquide légèrement rosé qui est purifié par chromatographie sur une colonne d'alumine neutre (éluant : dichlorométhane). Il est alors concentré, repris dans l'acétonitrile en présence de charbon actif et filtré. Après séchage plusieurs heures à 60°C, le composé est obtenu sous la forme d'un liquide incolore (81,47 g). Sa structure  $C_{10}H_{15}N_3S_2O_4F_6$  a été confirmée par analyse RMN.

25      Synthèse de l'hexafluorophosphate de 1-butyl-2,3-diméthylimidazolium  
          (BMMI<sup>+</sup>PF<sub>6</sub><sup>-</sup>)

33,37 g (0,200 mol) d'hexafluorophosphate de sodium et 37,50 g (0,199 mol) de chlorure de 1-butyl-2,3-diméthylimidazolium sont dissous dans 150 ml d'acétone. Après une agitation vigoureuse de 72 heures à température ambiante sous argon, la solution est filtrée sur célite puis concentrée. Après chromatographie sur une colonne d'alumine (éluant : dichlorométhane), le sel est repris dans l'acétonitrile en présence de charbon actif et filtré. La concentration de la solution donne 50,41 g (0,170 mol, 85%) d'un solide blanc. La structure de ce produit  $C_9H_{17}N_2PF_6$  est confirmée par analyse spectrale RMN.

35      Dans les exemples ci-dessous les abréviations utilisées ont les significations suivantes :

cod : 1,5-cyclooctadiène.

- eq : équivalent.  
 2M3BN : 2-méthyl-3-butènenitrile.  
 2M2BN : 2-méthyl-2-butènenitrile.  
 3PN : 3-pentènenitrile.  
 5 4PN : 4-pentènenitrile.  
 3+4PN : 3PN + 4PN.  
 DN : ADN + MGN + ESN  
 MGN : méthylglutaronitrile  
 ESN : éthylsuccinonitrile  
 10 TT (Y) : taux de transformation du produit à hydrocyaner Y correspondant au rapport du nombre de moles transformées de Y sur le nombre de moles initiales de Y.  
 RR (X) : rendement réel du composé X correspondant au rapport du nombre de moles formées de X sur le nombre de moles maximales de X.  
 RT (X) : sélectivité du composé X correspondant au rapport de RR (X) sur TT (Y).  
 15 L : Linéarité :  $RT_{AdN} / RT_{DN}$   
 CPG : chromatographie phase gazeuse.  
 TPPMS,Na : Triphénylphosphate de sodium  
 $P(Ph)_2PhSO_2Na$  (3-sodiosulfinatophényl)diphénylphosphine  
 $P(Ph)_2FuCO_2Na$  2-(5-sodiocarboxyfuryl)diphénylphosphine  
 20  $BPh_3$  Triphényl de bore  
 $In(CF_3SO_3)_3$   
 $ZnPh_2$   
 $Zn(CF_3SO_3)_2$   
 25 ISOMERISATION DE 2-METHYL-3-BUTENENITRILE (2M3BN) EN PENTENENITRILES LINEAIRES  
 Les essais ont été réalisés selon le mode opératoire suivant et dans un réacteur parallèle « Radleys » qui permet l'agitation et le reflux simultanés de 12 tubes de verre dit tubes de Schlenk.  
 Dans un tube en verre sont introduits successivement et sous argon :  
 30 -10 mg (0,036 mmol, 1 équivalent) de  $Ni(COD)_2$   
 -66 mg (0,18 mmol, 5 équivalents) de TPPMS,Na  
 -1,5 g de liquide ionique  
 -400 mg (4,93 mmol, 137 équivalents) de 2M3BN.  
 La solution est agitée 10 minutes à température ambiante, puis 1,2 ml d'heptane sont  
 35 ajoutés pour obtenir un milieu réactionnel biphasique.

Le tube est fermé, puis agité et chauffé à 100°C pendant 3 heures avec refroidissement en tête. En fin de réaction, les tubes sont refroidis dans l'azote liquide. Une quantité connue de butylbenzène (environ 40mg, pour servir d'étalon interne en chromatographie) est ajoutée au milieu réactionnel biphasique qui est dilué et  
5 homogénéisé par l'ajout de 10 ml de THF. La solution obtenue est filtrée sur une courte colonne de silice et injectée en chromatographie en phase gazeuse (CPG).

Dans les essais réalisés selon le mode opératoire ci-dessus, les produits de départ comprennent du 2M3BN et d'autres produits. La formulation molaire de ces produits est donnée dans le tableau I ci-dessous (les principaux composants sont indiqués).

10

Composant	abréviation	% molaire
2-méthyl-3-butènenitrile	2M3BN	79
2-méthyl-2-butènenitrile	2M2BN	12,70
2-pentènenitrile	2PN	6,30
4-pentènenitrile	4PN	0
3-pentènenitrile	3PN	1,30

Tableau I

Les résultats obtenus avec différents sels sont rassemblés dans le tableau II ci-dessous. A titre de comparaison un essai a été réalisé avec un catalyseur à base de  
15 Nickel et d'un ligand la triphénylphosphine en milieu monophasique

Tableau II

Ex	Sel	TT (%) 2M3BN	RT (%) 3PN + 4PN	RT (%) 2M2BN	RT (%) 2PN	Bilan massique (%)
A	(1)	42	57	-3,1	5,8	86
1	[BMI][TF <sub>2</sub> N]	95	90	2,9	-0,4	96
2	[BMMI][PF <sub>6</sub> ]	93	90	0,2	2,3	94
3	[BMMI][TF <sub>2</sub> N]	96	94	0,8	1,6	98

(1) essai comparatif sans liquide ionique avec comme ligand de la triphénylphosphine.

Des essais ont été réalisés sans utiliser de solvant apolaire tel que l'heptane pour obtenir un système monophasique. Le mode opératoire utilisé est identique à celui décrit ci-dessus à l'exception de l'absence de solvant apolaire. Les résultats obtenus sont listés dans le tableau III ci-dessous :

5

Tableau III

Ex	Liquide ionique	Durée	TT 2M3BN	RT 3PN + 4PN	RT 2M2BN	RT 2PN	Bilan massique
4	[BMMI][TF <sub>2</sub> N]	3 h	95	88	-0,1	0,2	92
5	[BMMI][PF <sub>6</sub> ]	3 h	94	90	1,3	1,1	95
6	[BMI][TF <sub>2</sub> N]	3 h	94	90	1,1	0,8	97

#### Hydrocyanation du 3PN en ADN

10

Dans un tube en verre sont introduits successivement et sous argon :

-40 mg (0,145 mmol, 1 équivalent) de Ni(COD)<sub>2</sub>

-264 mg (0,72 mmol, 5 équivalents) de TPPMS,Na

-1,5 ml de liquide ionique ou 2,1 g si le sel est solide à température ambiante

-400 mg (4,93 mmol, 34 équivalents) de 3PN

15

-1 équivalent d'acide de Lewis

Le tube est fermé avec un bouchon muni d'un septum. Le mélange réactionnel est agité et chauffé à 70°C pendant 3 heures, période pendant laquelle est ajoutée lentement la cyanhydrine de l'acétone (débit 0,12 ml/h, 0,36 ml, 3,95 mmol, 27 équivalents).

20

En fin de réaction, 15 ml d'acétone sont ajoutés au tube refroidi à température ambiante. La solution est agitée 10 minutes, puis versée dans un flacon contenant une quantité connue de butylbenzène (environ 250mg, pour servir d'étalon interne en chromatographie). La solution est filtrée et injectée en CPG.

25

Une première série d'exemples a été réalisée en utilisant différents acides de Lewis. Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau IV ci-dessous :

Ex	7	8	9	10	11	12
Ligand	TPPMS,Na					
Liquide ionique	BMMI,TF <sub>2</sub> N					
Acide de Lewis	ZnCl <sub>2</sub>	BPh <sub>3</sub>	In(CF <sub>3</sub> SO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	CoCl <sub>2</sub>	ZnPh <sub>2</sub>	Zn(CF <sub>3</sub> SO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
TT (en %)	25.9	11.0	5.1	8.9	3.6	26.8
L (en %)	57.3	45.5	78.5	57.9	50.6	50.9
RR (DN) (en %)	16.0	6.1	0.9	3.9	1.8	13.1
RR (NV) (en %)	2.1	3.6	0.9	1.2	1.5	1.7
Bilan massique (en %)	92.1	98.6	96.7	96.2	99.7	87.9

Tableau IV

Un seconde série d'exemples a été réalisée en utilisant des liquides ioniques et ligands  
5 différents. . Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau V ci-dessous :

Ex	13	14	15	16	17
Ligands	TPPMS,Na	P(Ph) <sub>2</sub> PhSO <sub>2</sub> Na	P(Ph) <sub>2</sub> FuCO <sub>2</sub> Na	TPPMS,Na	P(Ph) <sub>2</sub> FuCO <sub>2</sub> Na
Liquide ionique	BMMI,TF <sub>2</sub> N			BMI,TF <sub>2</sub> N	BMMI,PF <sub>6</sub>
Acide de Lewis	ZnCl <sub>2</sub>				
TT 3PN(en %)	25.9	5.7	12.1	32.5	4.5
L (en %)	57.3	36.6	19.8	60.0	16.9
RR (DN) (en %)	16.0	2.0	7.5	23.3	2.5
RR (NV) (en %)	2.1	1.1	1.3	2.8	1.1
Bilan massique (en %)	92.1	97.4	96.7	93.5	99.1

Tableau V



REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication de composés organiques comprenant au moins une fonction nitrile par réaction entre le cyanure d'hydrogène et un composé organique  
5 comprenant au moins une insaturation éthylénique en présence d'un catalyseur comprenant un élément choisi dans le groupe du nickel, platine, palladium et un ligand organophosphoré, caractérisé en ce que la réaction est réalisée en présence d'un liquide ionique comprenant au moins un cation et au moins un anion et étant liquide au moins à la température de mise en œuvre de la réaction.
- 10 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'un solvant peu polaire est ajouté dans le milieu réactionnel pour former un système biphasique
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le ligand  
15 organophosphoré comprend au moins une fonction ionisable ou un groupe ionique.
4. Procédé selon la revendication 1 ou 3, caractérisé en ce que le liquide ionique comprend au moins un cation choisi dans le groupe comprenant les structures tétraalkylammonium, N-alkylimidazolium, N-alkylpyridinium, N-alkylpicolinium, N-  
20 alkyltriazolium, N-alkylfluoropyrazolium, N-pyrrolidinium, alkylsulfonium, tétraalkylphosphonium, alkylloxonium.
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le liquide ionique comprend au moins un anion choisi dans le groupe comprenant halogénures, le  
25 nitrate, le phosphate, l'hydrosulfate, les perfluoroalkylsulfonates, les bis (perfluoroalkylsulfonyl)amidures, le bis (fluorosulfonyl)amidure, le bis(fluorophosphoryl)amidure, les tris (perfluoroalkylsulfonyl) méthylures, les tétrahalogénures de bore, d'aluminium, de gallium, de fer, les hexahalogénures de phosphore, d'arsenic et d'antimoine, les trihalogénures de zinc et d'étain, les  
30 dihalogénures de cuivre.
6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que l'anion est choisi dans le groupe comprenant  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{BF}_4^-$ ,  $\text{PF}_6^-$ ,  $\text{SbF}_6^-$ ,  $\text{AlCl}_4^-$ ,  $\text{ZnCl}_3^-$ ,  $\text{SnCl}_3^-$ ,  $(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}^-$ .
- 35 7. Procédé selon l'une des revendications 4 à 6, caractérisé en ce que le cation est choisi dans le groupe comprenant le 1,3-diméthylimidazolium, le 1-butyl-2,3-diméthylimidazolium, le 1-butyl-3-méthylimidazolium ou le 1,2,3-triméthylimidazolium.

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que le ligand est choisi dans le groupe comprenant les organophosphites, organophosponites, organophosphinites, organophosphines mono ou polydentates:
- 5
9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que le ligand organophosphoré comprend au moins un groupement ionique.
10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que le groupement ionique
- 10 présent dans les ligands organophosphorés est choisi dans le groupe comprenant les groupements de type anionique appartenant au groupe comprenant les anions sulfonate, phosphonate, phosphinite, carboxylate, sulfinat, ou de type cationique appartenant au groupe comprenant les cations guanidinium, ammonium, pyridinium, imidazolium, phosphonium, sulfonium.
- 15
11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que le ligand organophosphoré est choisi dans le groupe comprenant la tributylphosphine, la diméthyl-n-octylphosphine, la tricyclohexylphosphine, la triphénylphosphine, la tolylphosphine, la tris(p-méthoxyphényl) phosphine, la diplényléthylphosphine, la
- 20 diméthylphénylphosphine, la 1,4- bis-diphénylphosphinobutane, le triéthylphosphite, le diphénylphosphite.
12. Procédé selon la revendication 9 ou 10, caractérisé en ce que le ligand organophosphoré est choisi dans le groupe comprenant le
- 25 triphénylphosphinomonométasulfonate de sodium ), le 2-(5-sodiocarboxyfuryl)diphénylphosphine, le (3-sodiosulfinatophényl)diphénylphosphine.
13. Procédé selon l'une des revendications 2 à 12, caractérisé en ce que le solvant peu polaire est choisi dans la famille comprenant les hydrocarbures saturés choisis dans
- 30 le groupe comprenant l'hexane, l'heptane, l'octane, le toluène, et/ou les éthers choisis dans le groupe comprenant le diéthyléther, le diisopropyléther, le méthylisobutyléther.
14. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'élément métallique du catalyseur est le nickel à l'état d'oxydation 0 ou 1.
- 35

15. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le composé organique comprenant au moins une insaturation éthylénique est une oléfine, une dioléfine comprenant de 3 à 12 atomes de carbone.
- 5 16. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le composé organique comprenant au moins une insaturation éthylénique est le 1,3-butadiène.
- 10 17. Procédé selon l'une des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que le composé organique à hydrocyaner comprend au moins une insaturation éthylénique et une fonction nitrile.
- 15 18. Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce que le composé comprenant une fonction nitrile est choisi dans le groupe comprenant le pentène-3-nitrile, le pentène-4-nitrile.
19. Procédé selon l'une des revendications 1 à 14, caractérisé en ce qu'il consiste à isomériser des composés nitriles insaturés ramifiés en composés nitriles linéaires.
- 20 20. Procédé selon la revendication 19, caractérisé en ce que l'étape d'isomérisation est réalisée en absence de cyanure d'hydrogène.
21. Procédé selon l'une des revendications 17 ou 18, caractérisé en ce que la réaction est réalisée en présence d'un acide de Lewis.
- 25 22. Procédé selon la revendication 21, caractérisé en ce que l'acide de lewis est choisi dans le groupe comprenant les composés des éléments des groupes Ib, IIb, IIIa, IIIb, IVa, IVb, Va, Vb, VIb, VIIb et VIII de la Classification périodique des éléments.
- 30 23. Procédé selon la revendication 22, caractérisé en ce que les dits composés sont choisis dans le groupe comprenant les halogénures, sulfates, sulfonates, les carboxylates, les phosphates, les halogenosulfonates, les perhalogénoalkylsulfonates choisis dans le groupe comprenant les fluoroalkylsulfonates perfluoroalkylsulfonates, les bis(perfluoroalkylsulfonyl)amidures, les tris(perfluoroalkylsulfonyl)méthylures.
- 35 24. Procédé selon la revendication 21, caractérisé en ce que le liquide ionique comprend un anion formant l'acide de Lewis.

25. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la réaction est réalisée à une température comprise entre 10°C et 200°C.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR 02/03166

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 C07C253/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 C07C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, BEILSTEIN Data, CHEM ABS Data

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 00 32572 A (MURPHY VINCE ;HAGEMEYER ALFRED (US); POOJARY DAMODARA M (US); SYMY) 8 June 2000 (2000-06-08) page 24, line 12; claims ---	1-25
A	FR 2 338 253 A (RHONE POULENC IND) 12 August 1977 (1977-08-12) cited in the application claims ---	1-25
A	FR 2 739 378 A (RHONE POULENC FIBRES) 4 April 1997 (1997-04-04) cited in the application claims ---	1-25
A	FR 2 787 446 A (RHONE POULENC FIBRES) 23 June 2000 (2000-06-23) claims -----	1-25

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the International filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 November 2002

Date of mailing of the international search report

05/12/2002

Name and mailing address of the ISA  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Sánchez García, J.M.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 02/03166

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0032572	A	08-06-2000	AU 2165000 A WO 0032572 A2	19-06-2000 08-06-2000
FR 2338253	A	12-08-1977	FR 2338253 A1 BE 850301 A1 BR 7700171 A CA 1082736 A1 DE 2700904 A1 ES 454971 A1 GB 1542824 A IT 1083151 B JP 1170710 C JP 52116418 A JP 57061270 B NL 7700262 A , B, SU 677650 A3 US 4087452 A	12-08-1977 12-07-1977 06-09-1977 29-07-1980 14-07-1977 01-12-1978 28-03-1979 21-05-1985 17-10-1983 29-09-1977 23-12-1982 15-07-1977 30-07-1979 02-05-1978
FR 2739378	A	04-04-1997	FR 2739378 A1 BR 9610819 A CA 2231027 A1 CN 1198151 A DE 69613384 D1 DE 69613384 T2 EP 0854858 A1 WO 9712857 A1 JP 11501660 T RU 2186058 C2 US 5856555 A	04-04-1997 21-12-1999 10-04-1997 04-11-1998 19-07-2001 03-01-2002 29-07-1998 10-04-1997 09-02-1999 27-07-2002 05-01-1999
FR 2787446	A	23-06-2000	FR 2787446 A1 BR 9916437 A CN 1333745 T CZ 20012249 A3 EP 1140801 A1 WO 0037431 A1 JP 2002533321 T PL 348298 A1 SK 9102001 A3 TW 453985 B US 2002022736 A1	23-06-2000 04-09-2001 30-01-2002 14-11-2001 10-10-2001 29-06-2000 08-10-2002 20-05-2002 03-12-2001 11-09-2001 21-02-2002

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No  
PCT/FR 02/03166

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> CIB 7 C07C253/10		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
<b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b> Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) CIB 7 C07C		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, BEILSTEIN Data, CHEM ABS Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>		
Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WO 00 32572 A (MURPHY VINCE ; HAGEMEYER ALFRED (US); POOJARY DAMODARA M (US); SYMY) 8 juin 2000 (2000-06-08) page 24, ligne 12; revendications	1-25
A	FR 2 338 253 A (RHONE POULENC IND) 12 août 1977 (1977-08-12) cité dans la demande revendications	1-25
A	FR 2 739 378 A (RHONE POULENC FIBRES) 4 avril 1997 (1997-04-04) cité dans la demande revendications	1-25
A	FR 2 787 446 A (RHONE POULENC FIBRES) 23 juin 2000 (2000-06-23) revendications	1-25
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents         </div> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe         </div> </div>		
<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>* Catégories spéciales de documents cités:</p> <p>*A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>*E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>*L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>*O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>*P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p>*T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>*X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>*Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>*&amp;* document qui fait partie de la même famille de brevets</p> </div> </div>		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée  <div style="text-align: center; font-weight: bold;">28 novembre 2002</div>		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale  <div style="text-align: center; font-weight: bold;">05/12/2002</div>
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé  <div style="text-align: center; font-weight: bold;">Sánchez García, J.M.</div>

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR 02/03166

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 0032572	A	08-06-2000	AU 2165000 A WO 0032572 A2	19-06-2000 08-06-2000
FR 2338253	A	12-08-1977	FR 2338253 A1 BE 850301 A1 BR 7700171 A CA 1082736 A1 DE 2700904 A1 ES 454971 A1 GB 1542824 A IT 1083151 B JP 1170710 C JP 52116418 A JP 57061270 B NL 7700262 A , B, SU 677650 A3 US 4087452 A	12-08-1977 12-07-1977 06-09-1977 29-07-1980 14-07-1977 01-12-1978 28-03-1979 21-05-1985 17-10-1983 29-09-1977 23-12-1982 15-07-1977 30-07-1979 02-05-1978
FR 2739378	A	04-04-1997	FR 2739378 A1 BR 9610819 A CA 2231027 A1 CN 1198151 A DE 69613384 D1 DE 69613384 T2 EP 0854858 A1 WO 9712857 A1 JP 11501660 T RU 2186058 C2 US 5856555 A	04-04-1997 21-12-1999 10-04-1997 04-11-1998 19-07-2001 03-01-2002 29-07-1998 10-04-1997 09-02-1999 27-07-2002 05-01-1999
FR 2787446	A	23-06-2000	FR 2787446 A1 BR 9916437 A CN 1333745 T CZ 20012249 A3 EP 1140801 A1 WO 0037431 A1 JP 2002533321 T PL 348298 A1 SK 9102001 A3 TW 453985 B US 2002022736 A1	23-06-2000 04-09-2001 30-01-2002 14-11-2001 10-10-2001 29-06-2000 08-10-2002 20-05-2002 03-12-2001 11-09-2001 21-02-2002